

“DETECCIÓN DE FUGAS INTERNAS EN VÁLVULAS DE BLOQUEO CON EL USO DE EMISIÓN ACÚSTICA EN FACILIDADES PETROQUÍMICAS”



MONOGRAFÍA PARA OBTENER EL TÍTULO DE ESPECIALISTA EN
GESTIÓN DE LA INTEGRIDAD Y CORROSIÓN

PRESENTA:

ING. JAVIER MAURICIO HIGUERA MORA

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA

BOGOTÁ

2019

FORMATO DE PRESENTACIÓN DE LA MONOGRAFÍA

PAGINA DE PRESENTACIÓN:

**“DETECCIÓN DE FUGAS INTERNAS EN VÁLVULAS DE BLOQUEO CON EL
USO DE EMISIÓN ACÚSTICA EN FACILIDADES PETROQUÍMICAS”**

JAVIER MAURICIO HIGUERA MORA

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA

BOGOTÁ.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	1
1.INTRODUCCIÓN.....	2
2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	4
3. JUSTIFICACIÓN.....	5
4. OBJETIVOS.....	6
4.1. Objetivo General.....	12
4.2. Objetivos Específicos.....	12
5. MARCO TEÓRICO / ESTADO DEL ARTE.....	7
5.1. Función de las válvulas de seccionamiento de operación manual.....	13
5.2. Tipo de válvulas de seccionamiento.....	13
5.2.1. Válvula globo.....	15
5.2.2. Válvula de compuerta y cuchilla.....	16
5.2.3. Válvula tipo macho.....	18
5.2.4. Válvula de bola.....	19
5.2.5. Válvula mariposa.....	21
5.2.6 Válvula de diafragma.....	22
6. MARCO DE REFERENCIA.....	22
6.1. Importancia en la detección de fugas internas de válvulas.....	27
6.2. Etapas de control para evitar fugas internas de válvulas.....	27
6.2.1. Selección de válvulas.....	30

6.2.2. Manejo y almacenaje.....	30
6.2.3. Inspección y comisionamiento.....	31
6.2.4 Mantenimiento.....	31
6.3. Metodos de detección de fugas internas de válvulas por medio de END.....	32
6.3.1. Termografía.....	32
6.3.2. Uso de estetoscopio.....	32
6.3.3. Ultrasonido.....	33
6.4 Emisión Acústica.....	33
6.4.1. Detección y cuantificación acústica.....	33
6.4.2. Equipo utilizado para la detección acústica.....	36
6.4.3 Señales emitidas por el equipo EA.....	36
7. DISEÑO METODOLÓGICO.....	35
8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	36
9. BIBLIOGRAFÍA E INFOGRAFÍA.....	37

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Patrón estándar de una válvula de globo con bonete pernado con accionamiento por tornillo externo y disco tipo tapón (plug)	10
Figura 2. Patrón de válvula de compuerta con bonete pernado y vástago no ascendente	11
Figura 3. Patrón de válvula de tapón o plug con canales rectangulares paralelos al tapón	13
Figura 4. Patrón de válvula con bola flotante y sellos de torsión	14
Figura 5. Válvula Mariposa con empaque reemplazable y disco de sellado e interferencia	16
Figura 6. Válvula de diafragma tipo presa y tipo recto	17
Figura 7. Propagación del sonido	20
Figura 8. Proceso de detección de defectos	21
Figura 9. Ubicaciones recomendadas del sensor de EA en distintos tipos de válvulas	29
Figura 10. Sistema Vallen AMSY-5	30
Figura 11. Tipos de trasductores EA	31
Figura 12. Diagrama de bloques de un sistema de detección EA	32

Figura 13. Parámetros de forma de onda simplificados de la señal EA.....33

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Principales tipos de válvulas agrupadas con el método de regulación de
flujo8

RESUMEN

La presente monografía describe la emisión acústica (EA) como herramienta factible para la detección de fugas internas de válvulas de corte; esta herramienta puede ser utilizada eficazmente en un programa preventivo y predictivo de mantenimiento de válvulas de corte en la industria petroquímica y en general donde se requiere tener estos componentes de bloqueo, restricción y direccionamiento de flujo, instalados en sistemas de flujo o presión para su correcto funcionamiento con el fin de minimizar una afectación negativa en la producción, gasto de energía innecesario, corrosión en los equipos, consumo de materiales, contaminación ambiental o incluso llegar a ser un factor decisivo en fallas con afectación a equipos y a las personas.

Palabras clave: emisión acústica, válvulas, industria petroquímica

1. INTRODUCCIÓN

Las válvulas son componentes de un sistema de flujo o de presión como son tuberías y equipos, que permiten por medio de un ajuste mecánico, neumático o hidráulico regular la posición del elemento de cierre en la válvula de manera manual o automática regulando el flujo o la presión del fluido. La función de las válvulas implica detener y/o iniciar el flujo, controlar el caudal, desviar el flujo, evitar el contraflujo, controlar la presión y reducir la presión; ajustando mecánicamente la posición del elemento de cierre en la válvula de manera manual o automática.

Una de las más grandes y conocidas historias a nivel mundial donde involucra falla de válvulas, fue en el 2010 donde en la plataforma petrolífera en el golfo de México conocida como Deepwater horizon operada por British Petroleum (BP), presentó una sobrepresión en la formación que produjo un escape de fluido en la plataforma debido a la falla del sello de válvulas de emergencia y tubería generando el vertimiento de millones de barriles de crudo en el mar del golfo de México, cuyo desenlace negativo fue conocido mundialmente en el ámbito legal, impacto ambiental, pérdidas económicas y humanas. (Hunt,2011).

Teniendo en cuenta lo anterior, es importante conocer que las válvulas con fuga interna de fluido pueden provocar pérdida de producto valioso, o la transferencia no intencionada de componentes a los procesos industriales, en algunos casos elevando seriamente los riesgos del proceso (Ipieca,2013). National Geographic (2014) en su documental sobre la tragedia industrial en la fábrica de agroinsumos de la Union Carbide ubicada en Bophal (India) ocurrida en diciembre de 1984, en la cual murieron más de 25.000 personas, esto se dio cuando en una tarea de rutinaria de mantenimiento de limpieza, fundamental de la tubería, no se realizó correctamente ocasionando una obstrucción de los desagües permitiendo que el agua fluyera hacia las líneas principales de la planta y a los recipientes donde se acumulaba el Isocianato de metilo (agente químico altamente tóxico); estos tanques de acumulación del agente tóxico presentaban válvulas que tenían fuga interna, permitiendo así el paso del agua generando la reactividad de estos dos compuestos, permitiendo que se dispersará el gas tóxico por la ciudad de Bophal generando las consecuencias catastróficas previamente mencionadas.

Como los casos anteriormente mencionados han existido varios desastres industriales donde la fuga interna de válvulas ha sido un factor relevante para el desencadenamiento de eventos que concluye en la falla del proceso industrial, con

lo anterior podemos evidenciar el potencial que puede llegar a alcanzar un evento de falla en el cierre de una válvula.

Continuamente en la operación de plantas petroquímicas se utilizan válvulas para el control y aislamiento de fluidos contenidos y transportado por tuberías; en muchas ocasiones cuando hay cierre total de la válvula aparecen fugas internas que permite el paso de fluido, las cuales operacionalmente pueden parecer insignificantes, sin embargo pueden llegar a afectar negativamente la producción generando productos de menor calidad, gasto de energía innecesario, corrosión en los equipos, consumo de materiales, y contaminación ambiental (Yang *et al.*, 2015).

Conscientes de lo anterior los departamentos de Mantenimiento e Integridad deben incluir dentro de su plan de mantenimiento predictivo una variedad de técnicas y tecnologías para detectar las fugas presentes en las válvulas permitiendo así documentarlas y verificarlas, logrando localizar dichas fugas antes de que ocasionen interrupciones en la producción o aumenten los riesgos dentro del proceso.

El método más sencillo de detección en línea es la detección operacional cuando por ejemplo un tanque o recipiente no mantiene sus niveles al estar aislado, otros métodos relacionados con el uso de herramientas de ensayos no destructivos (EN) para la detección de fugas internas de válvulas son el método del pulso de choque, emisión acústica (EA), detección ultrasónica de fugas, vibración y otros métodos que incluyen la termografía, detección específica de gases y cambio de presión.

A través de ésta monografía se dará a conocer de forma descriptiva las técnicas de detección de fugas internas de válvulas por medio de emisión acústica (EA) dado a que como reporta Shukri (2014) estas tienen una mayor sensibilidad y su uso es amplio para monitorear el estado de la válvula en tiempo real.

2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Continuamente en la operación de plantas petroquímicas se utilizan válvulas para el control y aislamiento de fluidos contenidos y transportado por tuberías; en muchas ocasiones cuando hay cierre total de la válvula aparecen fugas internas que permite el paso de fluido generados por desgaste, corrosión y/o deformación de la superficie de sellado en donde la válvula producirá la brecha entre sus áreas de sello donde se escapará el fluido contenido.

Lo anteriormente descrito puede parecer insignificante operacionalmente, sin embargo pueden llegar a afectar negativamente la producción generando productos de menor calidad, gasto de energía innecesario, corrosión en los equipos, consumo de materiales, y contaminación ambiental que de acuerdo a Yang *et al.* (2015) puede ocasionar interrupciones en la producción o aumentar los riesgos dentro del proceso de cualquier industria que utilice las válvulas como un eje esencial en los sistemas operacionales.

3. JUSTIFICACIÓN

En muchos casos es de vital importancia reconocer las implicaciones que se generan por la fuga interna de válvulas debido a que lo anterior puede llegar a tener consecuencias desfavorables que se representan en pérdidas de temperatura, perdidas de energía por transporte de los fluidos perdidos, paradas de planta por cambio de válvulas no programadas, costo de fuga al no poder aislar la válvula de seccionamiento generando grandes pérdidas monetarias para la compañía incluso para el ambiente y la salud Humana (Hunt, 2011).

Adicionalmente, se debe tener en cuenta que existen herramientas factibles para la detección en línea temprana que permiten estructurar y priorizar mantenimientos en válvulas con fuga interna que generen un alto riesgo para el negocio, el ambiente y la salud como parte de un programa de mejora continua, eficacia energética o mejoramiento del rendimiento dentro de la excelencia operativa (Ipieca, 2013).

El análisis teórico de este tipo de detecciones tempranas puede convertirse en un punto de partida para tener en cuenta herramientas tecnológicas disponibles que pueden evitar generar inconvenientes en producciones de plantas industriales que integren válvulas que sean susceptibles de sufrir fugas internas continuas de fluidos o gases.

4. OBJETIVOS

4.1 Objetivo General

Describir la tecnología no intrusiva de emisión acústica, para detección de fugas internas de válvulas como actividad de inspección y monitoreo en un programa de mantenimiento predictivo en plantas petroquímicas.

4.2 Objetivos Específicos

- Brindar una base teórica del principio físico en que se basa las tecnologías de detección de fugas internas utilizando emisión acústica.
- Dar a conocer los métodos de detección de fuga interna de válvulas de corte por emisión acústica.
- Establecer las ventajas y desventajas de la utilización de tecnologías a base de emisión acústica para detección de fugas internas de válvulas.

5. MARCO TEÓRICO / ESTADO DEL ARTE

5.1 Función de las válvulas de seccionamiento de operación manual

Una válvula manual es considerada para ser operada por personal de planta directamente, con el uso de volante o un actuador on/off.

Las tres funciones más importantes de las válvulas es el manejo de fluidos, realizar corte o dar paso al fluido contenido, controlar la tasa de flujo y desviar flujo.

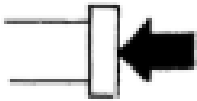
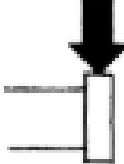
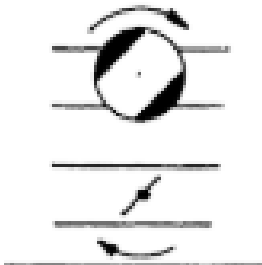
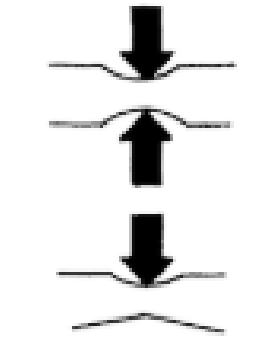
5.2 Tipos de válvulas de seccionamiento

Las válvulas de flujo pueden ser agrupadas en cuatro grupos acorde con el elemento de cierre con el asiento (Smith, 2004):

- Válvulas de cierre tipo tapón: Válvulas de globo y aguja
- Deslizamiento vertical: Válvulas de compuerta o cuchilla.
- Tipo rotación: Válvulas tipo bola, macho (plug)
- Cuerpo flexible: Diafragma

Cada grupo de válvulas representa un tipo distinto de válvulas que usan el mismo tipo de regulación de flujo, pero distinta forma de pieza de cierre tal como se describe en la tabla 1.

Tabla 1. Principales tipos de válvulas agrupadas con el método de regulación de cierre

Grupo de válvulas dependiendo del elemento de cierre	Tipo de Válvula
 <p>Closing Down</p>	<p>Válvula de Globo</p> <p>Valvula de Piston</p>
 <p>Sliding</p>	<p>Válvula de compuerta</p> <p>Válvula de cuchilla</p>
 <p>Rotating</p>	<p>Válvula de tapón (macho)</p> <p>Válvula de bola</p> <p>Válvula mariposa</p>
 <p>Flexing of valve</p>	<p>Válvula de diafragma</p>

Fuente: Smith, 2004

5.2.1 Válvula Globo:

El elemento de cierre de una válvula de globo asienta verticalmente sobre una sección circular dentro del cuerpo de la válvula a medida que el elemento de cierre se aproxima al asiento, la sección de paso se disminuye y por tanto aumenta la pérdida de presión disminuyendo el caudal (Smith, 2004) tal cómo se presenta en la figura 1.

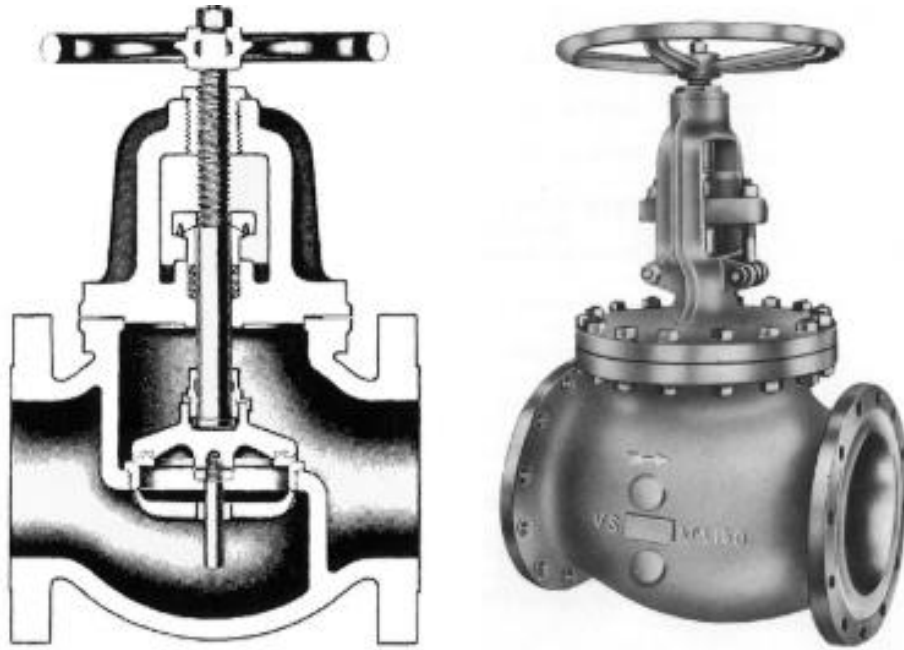
Aplicaciones:

- Control de flujo
- Cierre y apertura de flujo
- Válvula de accionamiento frecuente

Servicio:

- Gases libres de solidos
- Líquidos libres de solidos
- Vacío
- Uso criogénico

Figura 1. Patrón estándar de una válvula de globo con bonete pernado con accionamiento por tornillo externo y disco tipo tapón (plug)



Fuente: Crane CO, sf, citado por Smith, 2004

5.2.2 Válvula de compuerta y cuchilla:

La válvula de compuerta y cuchilla son válvulas que su apertura es mediante el levantamiento de una compuerta o cuchilla (la cuál puede ser redonda o rectangular), este elemento de cierre puede ser de un solo disco o de discos gemelos que tienen un elemento de extensión entre ellos (ver figura 2), una ventaja de las válvulas de compuerta es su baja resistencia al flujo y su corta longitud que se puede ubicar en tubería recta, la válvula también es capaz de regular fluidos que tengan sólidos en suspensión (Smith, 2004).

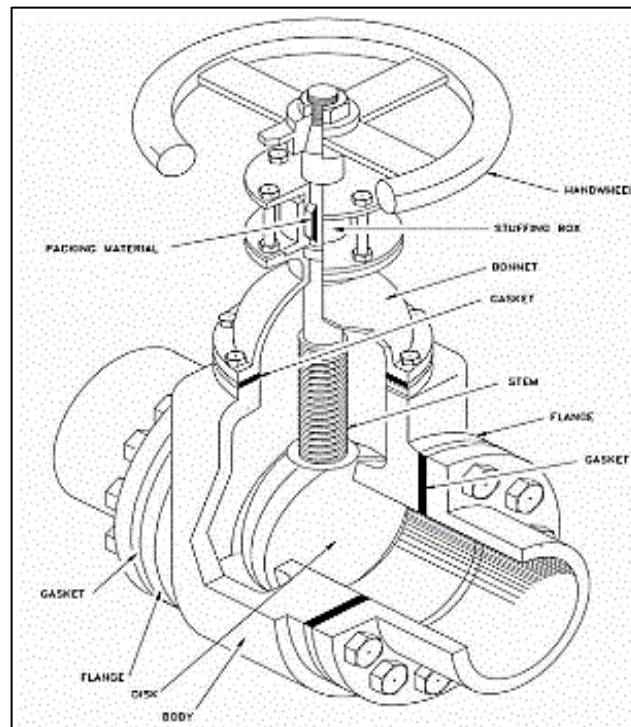
Aplicaciones:

- Cierre y apertura de flujo
- Válvula de accionamiento no frecuente

Servicio:

- Transporte de Gases
- Transporte de Líquidos
- Fluidos con sólidos en suspensión
- Válvula tipo cuchilla para lodos, fibras, polvos y gránulos.
- Vacío
- Uso criogénico

Figura 2. Patrón de válvula de compuerta con bonete pernado y vástago no ascendente



Fuente: Metalcol- Torino, sf, citado por Smith, 2004

5.2.3 Válvula tipo macho:

Las válvulas tipo macho o plug son válvulas de tipo de rotación donde un tapón es elemento de cierre donde en un giro de 90° alinea o desalinea los agujeros que tiene el tapón con los de la válvula (Smith, 2004), esta se ilustra en la figura 3.

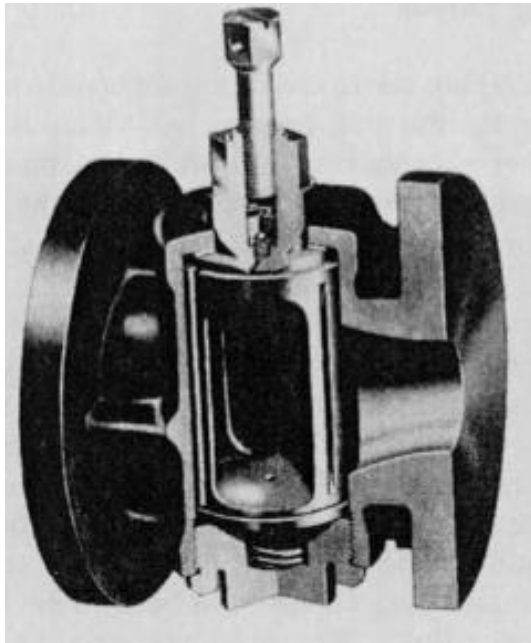
Aplicaciones:

- Cierre y apertura de flujo
- Regulación moderada
- Desviación de flujo

Servicio:

- Gases
- Líquidos
- Lodos no abrasivos
- Lodos abrasivos para válvulas lubricadas
- Fluidos pegajosos para tapones excéntricos o verticales
- Manejo sanitario, uso farmacéutico e industria alimenticia
- Vacío

Figura 3. Patrón de válvula de tapón o plug con canales rectangulares paralelos al tapón



Fuente: Pleger Hattersley Limited, sf, citado por Smith, 2004

5.2.4 Válvula de bola

Es de similar accionamiento a una válvula macho pero en lugar de tener un tapón posee un mecanismo de paso situado en el interior del cuerpo de la válvula que tiene forma de esfera perforada y gira para alinear su canal tubular a los extremos del cuerpo de la válvula (ver figura 4). Gran parte de las válvulas de bola poseen sellos blandos que se acomodan a la forma circular de la bola, por lo que es uno de los elementos de retención con mayor sello, sin embargo cuando la válvula tiene un cierre parcial el fluido puede dañar los sellos en algunos casos llegando a trabar la válvula. Muchas de las válvulas por costos de producción se fabrican con diámetro reducido con conductos tipo venturi en un tamaño $\frac{3}{4}$ menor al diámetro nominal de la válvula, esto no representa una caída grande de presión de la válvula frente a la fabricación de una válvula sin diámetro reducido (Smith, 2004).

Aplicaciones:

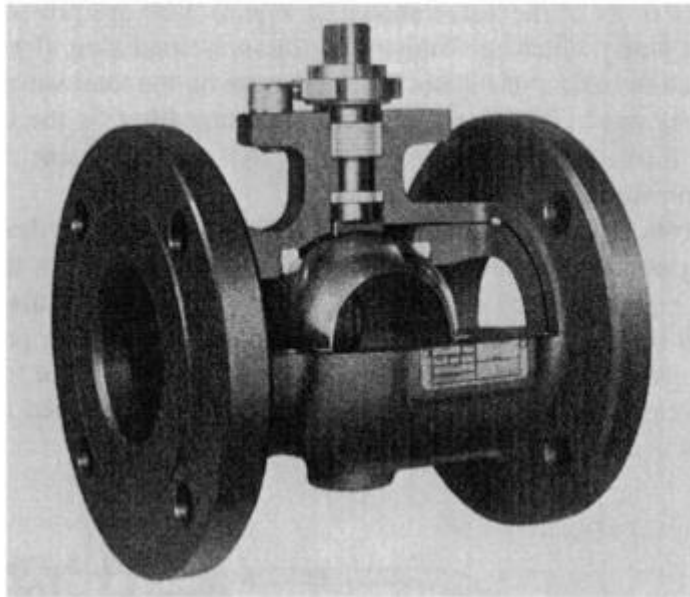
- Cierre y apertura de flujo
- Regulación moderada

- Desviación de flujo

Servicio:

- Gases
- Líquidos
- Lodos no abrasivos
- Vacío
- Uso criogénicos

Figura 4. Patrón de válvula con bola flotante y sellos de torsión



Fuente: Jamesbury International corp, sf, citado por Smith, 2004

5.2.5 Válvula de mariposa:

Es una válvula de movimiento rotativo que se utiliza para detener, regular, y permitir el flujo de un fluido. Las válvulas de mariposa se hacen funcionar fácilmente y rápidamente, porque una rotación del actuador de 90° mueve el disco de la posición completamente cerrada a la posición totalmente abierta (ver figura 5). Las válvulas de mariposa más grandes son accionadas por volantes conectados al vástago a través de engranajes que proporcionan una ventaja mecánica a expensas de la velocidad (Smith, 2004).

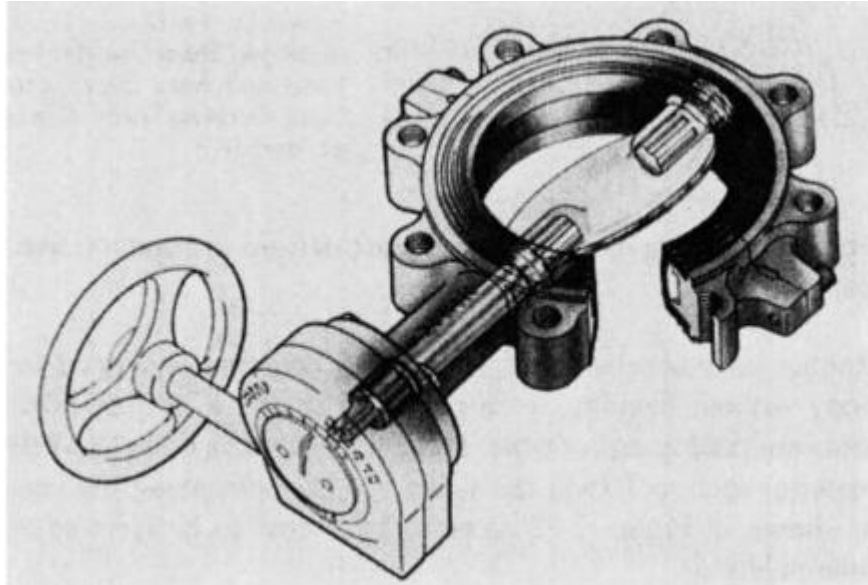
Aplicaciones:

- Cierre y apertura de flujo
- Control de flujo

Servicio:

- Gases
- Líquidos
- Lodos
- Polvos
- Granos
- Uso sanitario, farmacéutico y alimentos.
- Vacío

Figura 5. Válvula Mariposa con empaque reemplazable y disco de sellado e interferencia



Fuente: Dezurick inc, sf, citado por Smith, 2004

5.2.6 Válvula de diafragma:

Las válvulas de diafragma son de cuerpo flexible donde el cuerpo de la válvula consta de una parte flexible y otra parte rígida. La parte flexible consta de un diafragma que por medio de un compresor hace de pieza de sello. El asiento consta de una parte rígida del cuerpo de la válvula donde se encuentra el conducto (Smith, 2004). En la figura 6 se presentan los dos tipos de válvulas de diafragma tipo presa y tipo recto.

Aplicaciones:

- Cierre y apertura de flujo
- Control de flujo

Servicio:

- Gases puede contener solidos

- Líquidos pueden contener solidos
- Fluidos viscosos
- Lodos

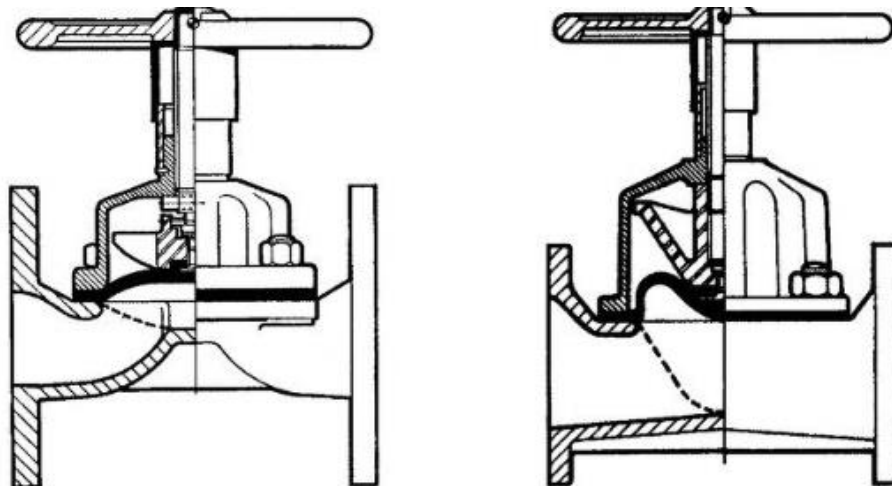
Servicio para válvulas de diafragma tipo presa

- Líquidos peligrosos
- Uso sanitario, farmacéutico y alimentos.
- Vacío

Servicio para válvulas de diafragma tipo recto

- Lodos
- Lodos con contenido abrasivo
- Medios secos

Figura 6. Válvula de diafragma tipo presa y tipo recto



Fuente: Saunders valve Company limited, *citado por Smith, 2004*

5.3 Modos de falla en válvulas

Existen varios modos de falla de importancia al evaluar los riesgos asociados a las válvulas de corte. Los modos de falla se pueden agrupar en las siguientes categorías:

- Falla de cierre o apertura.
- Fugas internas en válvulas (Pase).
- Fugas externas de válvulas.
- Corrosión externa.

La presente monografía expone la problemática referente a fugas internas de válvulas (pase en válvulas), debido a que estas fugas no se evidencian a simple vista, dado que son contenidas al interior de equipos y tuberías, pero pueden generar implicaciones negativas en los sistemas de producción, calidad, mantenimiento y seguridad de los procesos en la industria del oil and gas a nivel mundial.

5.2.1 Pase en válvula

Este modo de falla se presenta cuando la válvula en su operación mecánica es correcta, específicamente cuando se requiere el cierre total, las partes mecánicas operan correctamente, pero esta función es incompleta dejando escapar o filtrar producto internamente cuando se encuentra en posición de cierre total. El mantenimiento periódico hace que las válvulas operen con más facilidad y sellen adecuadamente.

Las variables que se agrupan en este modo de falla pueden ser:

- A) Tipo de sello:** Hace referencia a las características del asiento y el disco de la válvula.

- Duro: asiento y disco de metal (acero inoxidable, bronce) propensos a la deformación y desgaste por partículas.
- Blando: asiento y disco pueden incluir materiales suaves en el área de contacto (plástico o caucho).

B) Fluido: Hace referencia a los elementos sólidos extraños al fluido que se encuentran en la corriente de proceso pueden afectar los componentes de la válvula.

C) El fenómeno de corrosión-erosión interna se puede manifestar por:

- Fluido erosivo: Los elementos sólidos extraños al fluido que se encuentran en la corriente de proceso pueden causar desgaste en los elementos internos de la válvula.
- Cavitación: Los cambios de presión que se presentan en el fluido de proceso por causa de la configuración interna de las válvulas pueden generar burbujas de vapor que llegan a zonas de alta presión donde estas pueden implosionar y desprender material de la superficie donde sucede la implosión.

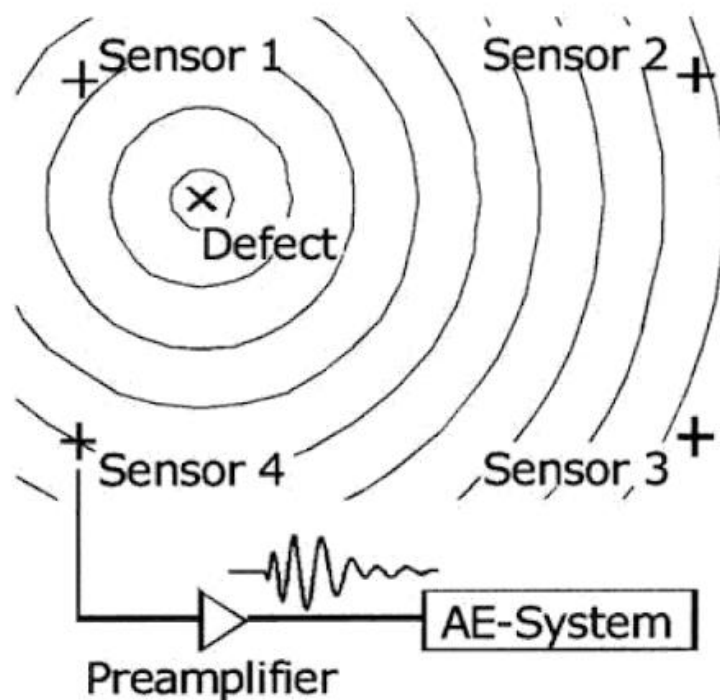
5.3 Emisión Acústica

La emisión acústica (EA) es un ensayo no destructivo el cual es el único método de prueba donde el material inspeccionado genera una señal que advierte sobre el fallo inminente (Mix, 2005).

La prueba de EA está basada en detectar cuando el material emite una señal sónica, ultrasónica o por emisión acústica cuando mecánicamente esta estresado, sufre deformación u ocurre una fractura del material generando dislocaciones a través de estructura cristalina del material emitiendo señales acústicas de baja amplitud que pueden ser medidas. La EA identifica, localiza y muestra la señal cuando el material se estresa (Mix, 2005).

Las dislocaciones del material liberan energía elástica en forma de ondas en todas las direcciones; en zonas planas del material las ondas se prolongan en forma de círculos alrededor del origen por lo cual varios sensores los pueden detectar (Figura 7). La máxima distancia de detección entre el evento que origina la EA depende de las propiedades del material, geometría del objeto, su contenido y ambiente. En superficies planas o cilíndricas el evento de EA se puede detectar por varios metros, el cual es la mayor ventaja de inspección de este método (Mix, 2005).

Figura 7. Propagación del sonido



Fuente: (Vallen_Systeme, citado por Mix, 2005)

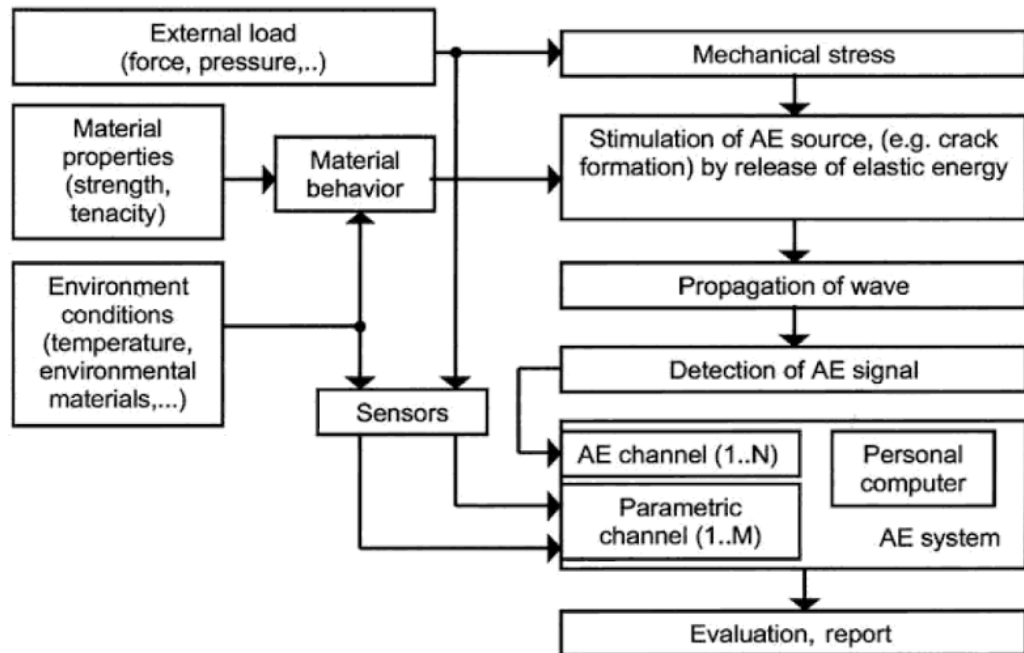
El proceso de detección de defectos en el material por medio de EA generalmente sigue los siguientes pasos:

- El objeto de prueba que al aplicarle carga produce tensiones mecánicas.
- Mecanismo fuente de libera de energía elástica.
- Los sensores convierten la onda mecánica a una señal de EA.
- Cuando se adquiere la data se convierten las señales eléctricas EA en datos electrónicos.
- El sistema muestra los datos recolectados en diagramas.

- Se interpretan los diagramas para detectar los hallazgos relevantes en ella.

En la figura 8 se presenta el flujograma relacionando los pasos esenciales que se deben tener en cuenta en el proceso de detección de defectos.

Figura 8. Proceso de detección de defectos



Fuente: Vallen_Systeme, citado por Mix, 2005

La EA de alta sensibilidad tiene uso en varios campos como es la supervisión en la fabricación de piezas mecánicas, en la industria de la construcción, desarrollo de materiales (Dornfeld, 1992; Ukpai, Barker, Hu y Neville, 2013; Behhia, 2014 citados por Yan *et al.*, 2015).

6.1 Importancia en la detección de fugas internas de válvulas

En el 2010 en la plataforma petrolífera en el golfo de México conocida como Deepwater horizon operada por BP, presentó una sobrepresión en la formación que produjo un escape de fluido en la plataforma debido a la falla del sello de válvulas de emergencia y tubería generó el vertimiento de millones de barriles de crudo en el mar del golfo de México, cuyo desenlace es generalmente conocido en cuanto a la parte ambiental, económica y humana (Hunt, 2011).

Sin embargo, según el reportaje generado por The Washington Post en (2010, citado por Hunt, 2011), en uno de los reportes de integridad operacional creado en 2001 dentro de las operaciones de North Slope de BP mencionaba lo siguiente “Los trabajadores creen que las fugas internas de válvulas de aislamiento es un problema importante y bajo ciertas circunstancias pueden representar un potencial peligro para los trabajadores y equipos” por lo que si se hubiera dado la importancia que se debía en el momento al reporte se hubiera podido aminorar el riesgo junto con las consecuencias.

Continuamente en la operación de plantas petroquímicas se utilizan válvulas para el control y aislamiento de fluidos contenidos y transportado por tuberías; en muchas ocasiones cuando hay cierre total de la válvula aparecen fugas internas que permiten el paso de fluido, las cuales operacionalmente pueden parecer insignificantes, sin embargo pueden llegar a afectar negativamente la producción generando productos de menor calidad, gasto de energía innecesario, corrosión en los equipos, consumo de materiales, y contaminación ambiental (Yang *et al.*, 2018).

En efecto una fuga interna de fluido en una válvula puede provocar pérdida de producto valioso, o transferencia no intencionada de componentes al proceso, en algunos casos elevando seriamente los riesgos del proceso (Ipieca, 2013), como reporta National Geographic (2014) en su documental sobre la tragedia de Bophal ocurrida en diciembre de 1984, en la cual murieron cerca de 20000 personas en días subsecuentes a la tragedia, todo inicio con una tarea de rutina de mantenimiento de limpieza de contaminantes que se acumulaban dentro de la tubería con agua, tarea que era fundamental para el proceso donde los residuos

contaminados eran evacuados a los desagües, en la maniobra se obstruyeron permitiendo que el agua fluyera hacia las líneas principales de la planta incluyendo los recipientes donde se acumulaba el Isocianato de metilo donde una válvula que tenía fuga interna permitió el paso del agua generando la reacción de estos dos componentes concluyendo en las consecuencias previamente mencionadas.

Sin embargo cabe destacar que el concepto de “válvula estanca” o “válvula sin pase” no existe (Campo, 2017), refiriéndose a que usualmente la definición permite un ligero pase de fluido dependiendo de la condición de operativa donde la válvula se encuentre instalada o de la norma con que se esté evaluando la válvula.

En Estados Unidos la agencia de protección ambiental conforme a la normatividad obligatoria de gases de efecto invernadero para los sistemas de petróleo de gas natural requiere que las instalaciones realicen detección de fugas en equipos y válvulas según U.S. Federal Regulation: 'Mandatory Greenhouse Gas Reporting for Petroleum and Natural Gas Systems' (Regulation 40, Part 98, Subpart W en 2013, citado por IPIECA, 2013), para lo anterior y con el fin de cumplir con las regulaciones federales de distintos países, los fabricantes optan por probar las válvulas y certificarlas desde la fábrica, sin embargo cada estándar de prueba de válvulas tiene una tasa de fuga aceptable; esto incluye ANSI FCI 70-2 CL V & VI, MSSP-61 y API 598.

6.2 Etapas de control para evitar fugas internas de válvulas

A saber en otras etapas posteriores a la fabricación se pueden producir daños menores en el asiento debido a un manejo inadecuado de las válvulas mientras está esperando la instalación. Las válvulas generalmente se ciclan durante la instalación de los actuadores y durante las pruebas hidrostáticas de la tubería. Los contaminantes secos pueden crear pequeños rasguños en las superficies metálicas de los asientos y el material de inserción suave, causando pequeñas fugas.

Por lo anterior previo al inicio de operación de las válvulas se debe asegurar procedimientos correctos durante la construcción y comisionamiento para asegurar el correcto funcionamiento, con menos posibilidades de pérdidas de producción y daños en el aislamiento de la válvula por lo cual se recomienda tener especial

cuidado con los siguientes pasos previos, durante y operación de las válvulas (Chisholm, 2009).

6.2.1 Selección de válvulas

Dentro del mercado de válvulas se encuentran infinidad de usos, modelos y tipos que permiten en su gran mayoría escoger la válvula correcta para la necesidad requerida, pero al haber tanta diversidad también se debe tener conocimiento para seleccionar la correcta, por lo anterior para seleccionar una válvula de bloqueo/aislamiento se debe primero que todo considerar las condiciones a las que deberá operar, por ejemplo hay que considerar el fluido que tan erosivo es para el tipo de sellos que debo utilizar en la válvula, se debe tener la premisa de que cualquier elemento de sellado se va a desgastar por lo que hay que tener en cuenta hasta qué punto los asientos se desgastarán lo suficiente para causar una fuga interna significativa, lo mismo sucede con la presión y la temperatura de operación (Chisholm, 2009).

Muchas de las válvulas que construyen los fabricantes son vendidas como libre de mantenimiento, por lo cual no incluyen sistemas de lubricación (graseras), este tipo de válvula se recomienda para tubería que se pueda aislar de manera sencilla y no represente una gran pérdida económica para la producción. Sin embargo debido a que estos elementos de aislamiento es una de las herramientas del operador para mantener la producción o para aislar tramos de tuberías y equipos, esta depende en gran medida en el sellado hermético por lo que se recomienda que para líneas críticas se instalen válvulas mantenibles para poder preservar su hermeticidad en caso de emergencia utilizando elementos sellantes fabricados para este fin (Chisholm, 2009).

6.2.2 Manejo y almacenaje

En muchas ocasiones el cuidado de las válvulas se descuida antes de su instalación inicial, durante los proyectos se almacenan muchas veces de una manera inadecuada antes de instalarlas y durante operaciones y mantenimiento las válvulas se tienen almacenadas durante mucho tiempo, donde son expuestas a inclemencias climáticas, a condiciones polvorientas y sin protectores que eviten contaminantes

entre los elementos sellantes incluso almacenando las válvulas en condición de cierre total o parcial (Chisholm, 2009).

De igual manera, durante el transporte al sitio donde va a ser instalada se realiza un manejo inadecuado que puede generar que los elementos de sello se deslicen exponiendo los anillos de los asientos o contaminación del área de sello por escombros lo cual generará un desgaste precipitado de los elementos de sello.

6.2.3 Inspección y comisionamiento

Durante la construcción y comisionamiento de las líneas hay que prestar especial atención a los residuos de manera general que puedan quedar atrapados dentro de los ductos como son electrodos de soldadura, residuos plásticos, residuos inorgánicos y desechos que durante el purgado de la línea puedan quedar aprisionados en el área de sello, esto en gran parte se puede evitar inyectando lubricante a los asientos de las válvulas retirando materiales extraños entre ellos antes de la primera operación (Chisholm, 2009).

6.2.4 Mantenimiento

Cabe destacar que hace falta un solo ciclo de operación para destruir las áreas de sello cuando se manejan fluidos contaminados, por lo anterior en las válvulas mantenibles se recomienda llevar una rutina de lubricación de sellos y piezas móviles que permitan prolongar la vida de la válvula al igual tener herramientas para sellar fugas internas si se necesitará, inicialmente en el primer año de funcionamiento de la válvula requiere una mayor cantidad de lubricante que en los años subsecuentes debido a que existe una mayor presión entre los elementos de sello, lo anterior exige que se lubrique la válvula en cada ciclo de cierre o apertura de la válvula, o si la válvula generalmente opera en una sola posición realizar la rutina de lubricación cada seis meses (Chisholm, 2009).

6.3 Métodos de detección de fugas internas de válvulas por medio de END

Una fuga externa en válvulas es fácilmente detectable debido a que se puede hallar de manera simple dentro del proceso y a que siempre hay personal que puede detectar estas fugas en la planta; de manera muy distinta las fugas internas no son tan fácilmente detectables y generalmente se descubren al momento de aislar una línea de proceso o un equipo, por lo que en estos casos se necesita colocar un doble bloqueo para poder realizar las maniobras operacionales deseadas (Hunt, 2011)

Existen varios métodos de detección de fuga interna de válvulas y muchos de estos son obligatorios en EE.UU. según su resolución ambiental, estos son descritos a continuación.

6.3.1 Termografía

Conocido como el principio de efecto Joule-Thomson a través de la válvula que permite identificar una temperatura más baja corriente abajo de la válvula en comparación con la temperatura corriente arriba de la válvula. La ventaja de este método es que requiere equipo estándar ('pistola térmica '). Sin embargo, este método no detecta con precisión las válvulas que pasan en todos los casos (citado por Ipieca, 2013). La efectividad del enfoque de temperatura diferencial puede estar limitada por los siguientes factores:

Presencia de hielo o condensación en caso de alto ΔP a través de la válvula. En el caso de alta temperatura aguas arriba de la válvula y / o baja ΔP , la temperatura corriente abajo de la válvula puede ser más alta o igual a la temperatura ambiente aunque esté pasando. Otros ejemplos cuando se puede incurrir en un error es cuando la sección aguas arriba de la válvula está caliente lo que puede indicar que el gas pasa a través de la válvula, sin embargo, en tuberías de gran diámetro, la convección natural dentro de la tubería puede hacer que la tubería aguas arriba de la válvula esté más caliente que la corriente abajo, aunque no haya gas que pase a través de la válvula. Por otra parte la radiación de la luz solar puede afectar la medición, pero se puede superar tomando la medición en la noche o en un día nublado (Ipieca, 2013)

6.3.2 Uso de estetoscopio

En muchos casos puede hallarse la fuga interna de las válvulas por medio de ruidos audibles que se generan en la disipación de energía que causa la válvula, este método puede ser utilizado en válvulas que no se ubiquen cerca de un equipo dinámico (Ipieca, 2013).

6.3.3 Ultrasonido

El ruido generado por el fluido chocando con la válvula genera una onda de ultrasonido a la válvula que rebota y se convierte en sonido para que el inspector la detecte. La frecuencia de funcionamiento debe seleccionarse con cuidado para que los ruidos cercanos no perturben la medición. La eficacia de este método aún no se ha confirmado (Ipieca, 2013).

6.4 Emisión Acústica

La detección de fugas internas en válvulas es el enlace tecnológico más importante en la producción y las aplicaciones de la válvula (Yang, et al, 2018), por lo anterior el estudio de la monografía fue enfocado hacia la EA dado que tiene una mayor sensibilidad y puede llegar la tecnología a usarse para monitorear las válvulas en tiempo real (Shukri, 2014).

6.4.1 Detección y cuantificación acústica

Se realiza por medio de una herramienta portátil que permite la cuantificación de fugas internas en válvulas para fluidos monofásicos (gas, líquido y recientemente, vapor), basados en la detección acústica. La medición es rápida (dos minutos por válvula) y no intrusiva. El ruido de las máquinas rotativas circundantes generalmente no afecta la medición pero, en algunas condiciones específicas, el ΔP cercano de los fluidos puede alterar la medición. Este dispositivo también tiene el beneficio adicional de permitir un análisis de la integridad de una válvula de aislamiento (ya

que algunos están expuestos a la erosión por arena), con el fin de mejorar el rendimiento con respecto a la seguridad, la producción y el medio ambiente (Ipieca, 2013).

La EA es una energía emitida en forma de onda elástica transitoria u onda de sonido en un material, la detección de EA es una técnica inteligente confiable que controla el estado de los materiales bajo estrés (Yan, *et al.*, 2015). La señal de EA es obtenida por el equipo cuando la señal ya ha sido detectada y procesada eléctricamente, generalmente la señal EA tiene un amplio rango de frecuencias comprendida entre 25 Khz a 3MHz, pero generalmente es analizado y procesado en frecuencia entre 100Khz a 1Mhz debido a la alta sensibilidad (Kaewwaewnoi *et al.*, sf).

Debido al desgaste, la corrosión y la deformación, la superficie de sellado de la válvula producirá la brecha y la fuga; bajo una gran diferencia de presión de fuga, el medio dentro del cuerpo de la válvula permitirá un orificio de fuga. El campo de presión de onda se genera en el orificio de fuga para formar un chorro turbulento multifasico, con las señales anteriores la técnica de EA detectar fuga interna en las válvulas sin desensamblarlas (Püttmer and Rajaraman, 2007).

Hay tres tipos de señales de fuente de emisión en el chorro turbulento multifase (Yang *et al.*, 2018):

(1) La presión del fluido en el cuerpo de la válvula cambia de manera irregular, y el fluido impacta en las partes móviles o elásticas de la válvula, lo anterior hace que estas piezas vibren en sus frecuencias naturales y produzcan vibraciones mecánicas y sonido (Yang *et al.*, 2018).

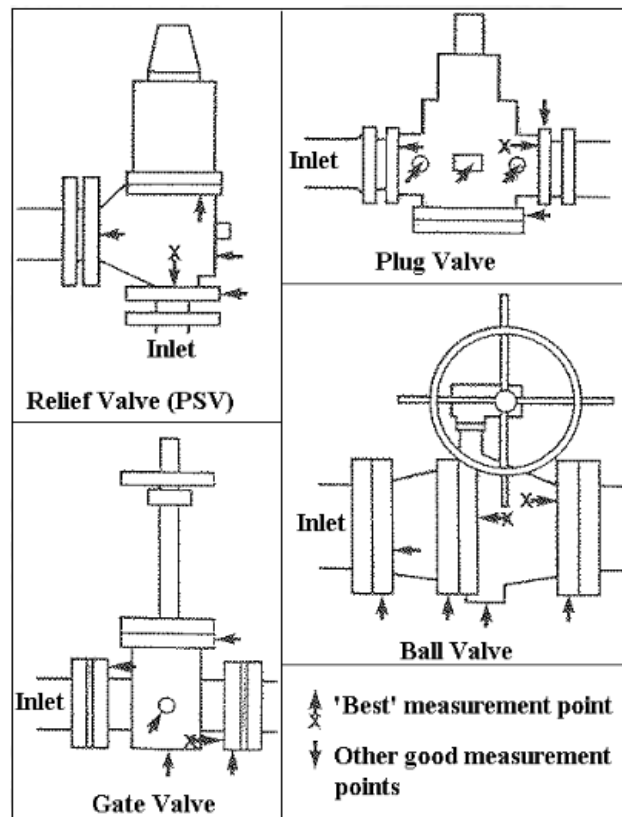
(2) Con el fluido la sección se contrae repentinamente en el orificio de fuga de la válvula, lo que conduce a una extensión en la parte posterior de la válvula, y produce cavitaciones para generar sonido (Yang *et al.*, 2018).

(3) La fuerte turbulencia y la mezcla del campo de flujo en la región inmediatamente después de la sección de contracción genera un sonido genereodinámico que es la

fuente de sonido principal de la válvula, la cual está relacionada con la velocidad, el caudal, la presión de entrada de la válvula, el tamaño de la válvula, el tipo de válvula disposición de tuberías y propiedades físicas del fluido (Yang *et al.*, 2018).

La señal de fuga de la válvula es más fácilmente ubicada contigua al lado aguas debajo de la válvula (Figura 10), debido a la turbulencia creada cuando el gas/fluido fluye desde el lado de alta presión a través del área de fuga hacia el lado de baja presión, por lo tanto en este punto es el lado adecuado para colocar el montaje del sensor EA (R.K. Miller and P. McIntire, 1987, citado por, Kaewwaewnoi, et al., SF)

Figura 9. Ubicaciones recomendadas del sensor de EA en distintos tipos de válvulas.

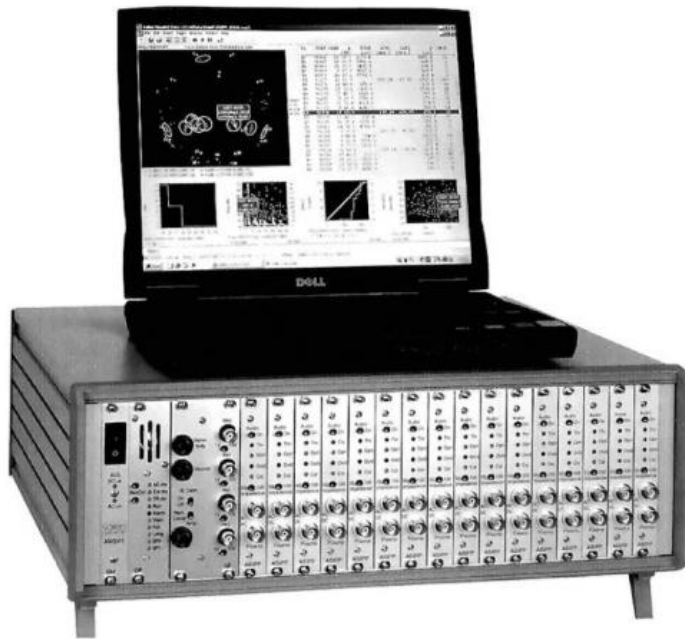


Fuente: Mistras Group ABEE

6.4.2 Equipo utilizado para la detección de EA

El típico equipo de EA comprende varios módulos electrónicos como los sensores EA, preamplificadores, filtros, amplificadores, y sistema de adquisición de datos (AST Manual book, 1993 citado por Kaewwaewnoi *et al.*, sf), la imagen de dicho equipo se observa en la figura 11.

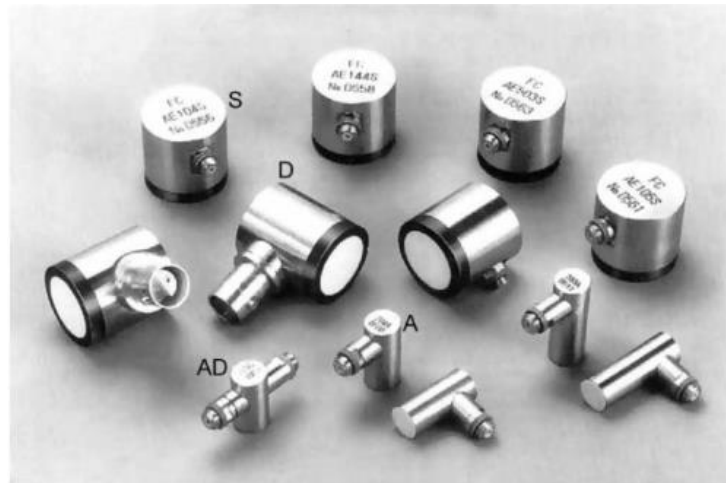
Figura 10. Sistema Vallen AMSY-5



Fuente: Vallen_Systeme, citado por Mix, 2005

Los sensores EA son generalmente dispositivos piezoeléctricos (PZT) que transforman las ondas elásticas en señales eléctricas. Para obtener El mejor sistema de medición de fugas, se requiere un acondicionamiento y procesamiento de señal apropiados. Además, la relación señal a ruido y los parámetros EA adecuados deben considerarse con prudencia (Kaewwaewnoi *et al.*, sf)

Figura 11. Tipos de trasductores EA



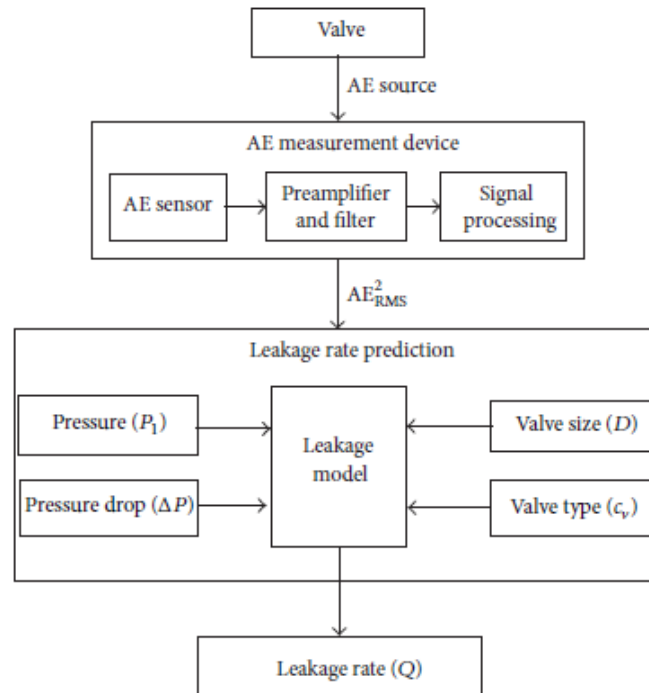
Sensor types—S: Single, A: Compact single, D: Differential, and AD: Compact differential

Fuente: Vallen_Systeme, citado por Mix, 2005

Un sensor EA adecuado debe seleccionarse adecuadamente para recibir la sensibilidad más alta. El nivel de preamplificador adecuado se basa en el nivel de la fuente de la señal y los límites de saturación del sistema EA. Para eliminar el ruido de fondo, normalmente se usa un filtro de paso de banda operado en el rango de 100 kHz a 400 kHz (Pollock y Hsu, 1982 citado por Kaewwaewnoi *et al.*, sf)

Los dispositivos empleados para detectar la fuga de válvulas con la tecnología EA suelen ser enormes e incómodos de mover. Es particularmente inadecuado para detectar la fuga de válvulas aplicadas en campos de ingeniería. Para resolver los problemas y reducir el costo, algunos investigadores se dedican a las invenciones y mejoras de los dispositivos portátiles para la detección de fugas de válvulas según los estudios anteriores. La idea principal es que esos dispositivos usan un sensor para detectar el parámetro sensible de la señal EA generada por la fuga de válvulas y luego tienen reconocimiento o diagnóstico de la fuga basado en el microprocesador. Con este método se sacrifica un poco la precisión para simplificar el sistema y reducir los costos Figura 13. (Yan *et al.*, 2015)

Figura 12. Diagrama de bloques de un sistema de detección EA

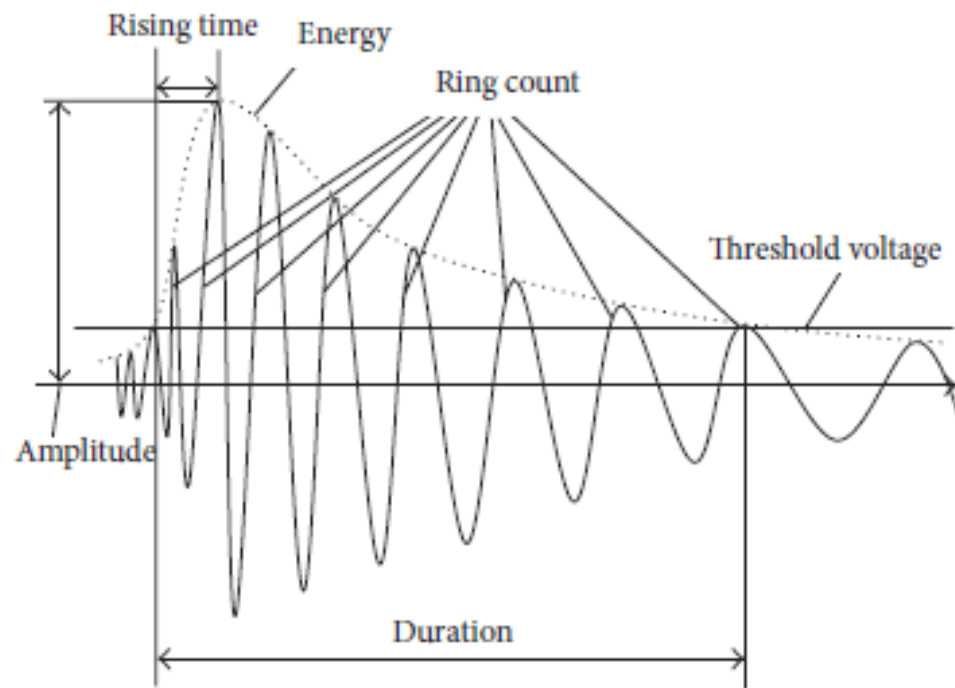


Fuente: Kaewwaewnoi et al., 2010

6.4.3 Señales emitidas por el equipo EA

Para la señal continua EA, los parámetros utilizados con más frecuencia son la energía promedio (AErms) y Nivel de señal promedio (ASL). Los AErms son la raíz cuadrada de la señal EA (Figura 14).

Figura 13. Parámetros de forma de onda simplificados de la señal EA



Fuente: Ali et al. (2014)

En la mayoría de los casos, cientos o incluso miles de señales se registran para la evaluación estadística. Los parámetros listados a continuación pueden ser evaluados estadísticamente (Mix, 2005):

- Hora de llegada (hora absoluta del primer umbral de cruce).
- Amplitud de pico.
- Tiempo de aumento (Risetime) (intervalo de tiempo entre el primer cruce de umbral y la amplitud máxima).
- Duración de la señal (intervalo de tiempo entre el primer y el último umbral de cruce).
- Número de cruce de umbral (cuentas) del umbral de una polaridad.
- Integral de energía de la amplitud al cuadrado (o absoluta) en el tiempo de duración de la señal.

- RMS (raíz cuadrada media) del ruido de fondo continuo (antes de la ráfaga)

La tasa de fuga de la válvula generalmente se divide en seis niveles, el nivel de fuga del nivel I es el más grande y el nivel VI es el más pequeño. En general, el nivel IV se usa para determinar si la válvula está calificada. De acuerdo con el estándar de tasa de fuga de la válvula, Estados Unidos ANSI B16.104–1976, para las válvulas de calibre pequeño y mediano, los diámetros en los cuales son menores de 80 mm, el IV El nivel de la tasa de fuga generalmente es inferior a 200 ml / min, lo que se conoce como pérdida pequeña. Actualmente, la tecnología EA se utiliza principalmente para detectar la tasa de fuga en válvulas grandes. Por ejemplo, la cantidad de tasa de fuga es superior a 1000 ml / min. Y hay poco estudio utilizando la tecnología EA para detectar la pequeña tasa de fuga de la válvula. Mientras tanto, no se dieron a conocer los detalles técnicos concretos del método de procesamiento de datos de detección de fugas. Por lo tanto, es necesario estudiar la tecnología de detección de la pequeña tasa de fuga porque tiene un valor de aplicación práctica. Sin embargo, cuanto menor sea la fuga es más difícil de detectar. (Yang *et al.*, 2018)

7 DISEÑO METODOLÓGICO

Para la realización de la monografía se tuvo en cuenta cuatro aspectos a nivel metodológico para dar respuesta a la misma; los cuales se describen a continuación:

- 1) Delimitación del problema: La experiencia profesional del autor referente a la temática de fuga interna de válvulas permitió delimitar la problemática a ser abordada a lo largo del presente trabajo. El autor cuenta con una experiencia en campo de nueve años en los cuales ha trabajado en el área de Integridad en plantas de producción de hidrocarburos, permitiendo así que a través de la observación continua y mantenimiento de activos, identificar el problema de fuga interna de válvulas. La evidencia del área de producción cuando ya se tiene que aislar tramos de tubería, equipos y se tiene que realizar dobles bloqueos para una tarea inicialmente sencilla, desconociendo de esta manera que herramientas pueden utilizarse para la detección temprana de la fuga interna de las válvulas.
- 2) Recolección de información teórica: Se delimita el tema a partir de la comprensión de las palabras principales como valve leakage, passing valve, acoustic emission in passing valves, acoustic emission in valve leakage, las cuales se utilizaron para hacer búsqueda teórica en bases de datos como Academic search complete -EBSCO, Dialnet Engineering village/Compendex, Latindex, Redalyc, Scopus, ScienceDirect, Springer books journal y bases de datos universitarias.

Adicionalmente, se consultan libros electrónicos, disertaciones de tesis de universidades nacionales, artículos científicos, informes de trabajo, reportes de revistas, videos y crónicas.
- 3) Clasificación de información: La información teórica consultada se clasifica teniendo en cuenta el aporte dado a la monografía en los aspectos teóricos, conceptuales y referenciales.
- 4) Planteamiento de solución: Teniendo en cuenta las descripciones teóricas abordadas en el documento se plantea la solución a la problemática dando respuesta a la misma, con base en las investigaciones encontradas en artículos científicos las cuales se describen en el marco de referencia del presente documento.

8 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- 1) La técnica de emisión acústica ha demostrado ser eficaz y una de las más sensibles para la identificación de fugas de válvulas internas, en un amplio rango sin necesidad de desmontarla de la línea, hacer pruebas en banco y/o desensamblarla.
- 2) Aunque la técnica es óptima para la detección de fugas internas de válvulas realizadas en línea, en la actualidad se requieren de equipos de gran tamaño, costos y difíciles de movilización que dentro de un escenario de pruebas de laboratorio es buena opción, pero por razones prácticas no aplican para ser un equipo de uso rutinario y trabajo en plantas industriales por lo que la tecnología aún requiere desarrollo.
- 3) En la actualidad se continúa trabajando en la tecnología para que los equipos sean de menor tamaño sin disminuir de manera significativa la sensibilidad en la detección fugas internas de válvulas.
- 4) Con el desarrollo de la técnica, podrá ser posible monitorear la condición de operación de las válvulas críticas a través de la correlación entre los parámetros de emisión acústica y la tasa de fuga.
- 5) Hay que tener especial cuidado con la selección de los sensores adecuados y métodos de filtrado para mejorar la relación señal/ruido.
- 6) La técnica permite ser combinada con otras técnicas como el ultrasonido, termografía, análisis de vibraciones entre otras con el fin de complementarse y mejorar la sensibilidad adecuada para la detección de fugas internas.
- 7) El propósito de la detección temprana de fugas internas de válvulas, es que el mantenimiento o reemplazo se pueda realizar antes de que generen un alto riesgo para el negocio, el ambiente y la salud como parte de un programa de mejora continua, eficacia energética o mejoramiento del rendimiento dentro de la excelencia operativa.

9 BIBLIOGRAFÍA E INFOGRAFÍA.

Hunt, Kevin. 2011. Redefining Valve Zero- Leakage Standards. Power Engineering /APR 2011 / Pag 26-32. Disponible en http://digital.bnpmedia.com/publication/?i=87676&article_id=883454&view=articleBrowser&ver=html5#{%22issue_id%22:87676,%22view%22:%22articleBrowser%22,%22article_id%22:%22883454%22}

Campo, Antonio. 2017. Fugas en válvulas de control. instrumentación hoy. instrumentación y control de plantas industriales. Disponible en: <https://instrumentacionhoy.blogspot.com/2017/06/fugas-en-valvulas-de-control.html>

Ipieca.2013 Passing Valves (leakage) /Abril 2013 /. Disponible en <http://www.ipieca.org/resources/energy-efficiency-solutions/units-and-plants-practices/passing-valves-leakage/>

National Geographic, Documentary The Bhopal Disaster INDIA/ 2014 /Disponible en <https://www.youtube.com/watch?v=HsuUQzhP2Ds>

By Jin Yan, Yang Heng-hu, Yang Hong, Zhang Feng, Liu Zhen, Wang Ping, and Yang Yan, Nondestructive Detection of Valves Using Acoustic Emission Technique, 2015

I.N.B.M. Shukri, G.Y. Mun, R.B. Ibrahim, A study on control valve fault incipient detection monitoring system using Acoustic Emission technique. Computer Research and Development (ICCRD), 2011 3rd International Conference on. Vol. 4 (2011).

Peter Smith, "Valve selection handbook: Engineering fundamentals of selecting the right valve design for every industrial flow application".Elsevier, pp 78-168, Jan 2004

Peter Smith, R. W. Zappe, Valve Selection Handbook: Engineering Fundamentals for Selecting the Right Valve Design for Every Industrial Flow Application (2004) PP79-164.

Paul E. Mix, Introduction to Nondestructive Testing: A Training Guide (2005) PP15-60.

Chishom, Jason.2009. 5 simple steps to total valve integrity. Pipelines International /Ene 2010 /. Disponible en https://www.sealweld.com/pdf/5_simple_steps_to_total_.pdf

By Watit Kaewwaewnoi*, Asa Prateepasen**, Pakorn Kaewtrakulpong*, Measurement of Valve Leakage Rate using Acoustic Emission, SF

Püttmer and V. Rajaraman, "P3F-6 acoustic emission based online valve leak detection and testing," in Proceedings of the IEEE Ultrasonics Symposium (IUS '07), pp. 1854–1857, IEEE, October 2007.

R.K. Miller and P. McIntire, Nondestructive Testing Handbook, vol.5, Acoustic Emission Testing, SF

American Society for Nondestructive Testing, Inc.,2nd ed, Columbus, Ohio, 1987, pp. 12, 541.

W. Kaewwaewnoi, A. Prateepasen, and P. Kaewtrakulpong, "Investigation of the relationship between internal fluid leakage through a valve and the acoustic emission generated from the leakage," *Measurement*, vol. 43, no. 2, pp. 274–282, 2010.

Q. Gao, L. Li, H. Rao, and J. Yang, "Research on the relationship between internal fluid leakage through a valve and the acoustic emission features generated from the leakage," *Journal of Engineering for Thermal Energy and Power*, vol. 26, no. 5, 2011.

M. Noipitak, A. Prateepasen, and W. Kaewwaewnoi, "A relative calibration method for a valve leakage rate measurement system," *Measurement*, vol. 44, no. 1, pp. 211–218, 2011.

A. Prateepasen, W. Kaewwaewnoi, and P. Kaewtrakulpong "Smart portable noninvasive instrument for detection of internal air leakage of a valve using acoustic emission signals," *Measurement*, vol. 44, no. 2, pp. 378–384, 2011.